

NUEVOS DATOS Y ESQUEMAS GENÉTICOS DE LOS DEPÓSITOS BARÍTICO-CELESTÍNICOS VINCULADOS A LA SECUENCIA JURÁSICO-CRETÁCICA DE LA CUENCA NEUQUINA EN LA PROVINCIA DEL NEUQUÉN

Raúl E. de BARRIO¹, Ricardo O. ETCHEVERRY^{1,3}, Miguel A. DEL BLANCO¹, Eduardo A. DOMÍNGUEZ^{2,3}, Clemente RECIO HERNÁNDEZ⁴, Rodrigo I. ESCOBAR^{1,3} y Melisa A. SALVIOLI^{1,3}

¹ Instituto de Recursos Minerales (INREMI-CICBA)-FCNyM (UNLP), La Plata. E-mail: debarrio@inremi.unlp.edu.ar

² Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

⁴ Laboratorio de Isótopos Estables, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, Salamanca, España.

RESUMEN

La Cuenca Neuquina representa unos de los ejemplos más significativos en la Argentina de desarrollo de ciclos carbonático-evaporíticos marinos y de eventos de sedimentación clástica continental, sucedidos alternadamente durante el lapso Jurásico-Cretácico. Asociado a definidos horizontes estratigráficos de esos ciclos se encuentra un numeroso conjunto de depósitos barítico-celestínicos de carácter estratoligado vinculado a distintos procesos mineralizantes: depositación sedimentario-exhalativa en fondo marino, reemplazo preferencial de rocas carbonáticas y niveles yesíferos con procesos diagenéticos superpuestos y relleno de fracturas y oquedades. Las mineralizaciones de Ba-Sr, mayoritariamente epigenéticas, están vinculadas a la acción de fluidos hidrotermales en áreas con y sin afloramientos de rocas ígneas.

Palabras clave: Mineralizaciones de Ba-Sr, Jurásico-Cretácico, metalogénesis, Neuquén, Argentina

ABSTRACT

New data and genetic models of the Ba-Sr ore deposits related to the Jurassic-Cretaceous sequence of the Neuquén Basin, Neuquén Province

The Neuquén Basin represents one of the more significant examples in Argentina where several marine carbonate-evaporite and continental cycles were developed during the Jurassic-Cretaceous. Numerous Ba-Sr stratabound deposits are closely associated with the carbonate and gypsum horizons of several stratigraphic units, as the result of different mineralizing processes: sedimentary-exhalative deposition onto the seafloor, selected replacements of carbonate rocks and gypsum beds with subsequent diagenetic processes and hydrothermal infilling of fractures, voids and vugs. The Ba-Sr mineralizations are mainly epigenetic, and they are related to hydrothermal fluids that occurred in areas with or without igneous rock outcrops.

Keywords: Ba-Sr ore deposits, Jurassic-Cretaceous, metallogeny, Neuquén Province, Argentina

INTRODUCCIÓN

La presente contribución constituye una síntesis de diversas hipótesis y algunas nuevas concepciones genéticas sobre los depósitos barítico-celestínicos que están estrecha y espacialmente asociados a las secuencias carbonático-evaporíticas mesozoicas de gran distribución areal en la provincia del Neuquén. Es el resultado de investigaciones llevadas a cabo en los últimos años que han reunido una considerable información de campo, mineralógica, petrográfica, sedimentológica y geoquímica. Estas observaciones y datos han permitido plantear y postular algu-

nos modelos genéticos que a su vez abren nuevas perspectivas geoeconómicas para las mineralizaciones estudiadas.

Dos eventos geológicos regionales son de singular importancia en la comprensión de los procesos que acotan la génesis de los depósitos barito-celestínicos: la sedimentación jurásico-cretácica y el magmatismo del Cretácico más Tardío-Paleógeno. La Cuenca Neuquina (Fig. 1a) representa una extensa cubeta de sedimentación caracterizada por una potente sucesión estratigráfica depositada durante el lapso Triásico superior-Terciario inferior (Legarreta y Gulisano 1989). El relleno sedimentario del Jurásico-Cretácico

de la cuenca exhibe espesas sucesiones marinas y continentales que marcan una rica historia evolutiva. Por su parte, en el sector centro-occidental de la cuenca, el magmatismo andesítico del Grupo Molle (Yrigoyen 1972) asoma como cuerpos de variable extensión, esencialmente stocks y diques, marcando un importante evento tectonomagmático.

ANTECEDENTES

Los depósitos de Ba y Sr de la Cuenca Neuquina comenzaron a ser objeto de estudio a mediados del siglo XX por parte de instituciones oficiales (Banco Nacio-

nal de Desarrollo, Dirección Nacional de Geología y Minería, etc.) las cuales enfocaron los trabajos a aspectos descriptivos y geoeconómicos. En la segunda mitad del siglo XX investigaciones más detalladas se orientaron a dilucidar los aspectos genéticos de las mineralizaciones. Así, Brodtkorb *et al.* (1975, 1982, 1989) y Brodtkorb y Danieli (1999), por efectuar solo algunas citas, sostienen para la gran mayoría de los depósitos de Sr-Ba un origen singenético asociado a deposición en ambiente evaporítico (celestinas) o precipitación química en ambientes marinos costeros (baritinas) con procesos diagenéticos sobreimpuestos y en algunos casos de karstificación. Asimismo, señalan que las mineralizaciones se habrían generado durante tres grandes ciclos evaporíticos representados esencialmente por las Formaciones Tábanos y Auquilco del Jurásico Medio a Superior (Caloviano y Oxfordiano, respectivamente) y la Formación Huitrín, del Cretácico Inferior. También indican procesos de removilización de las mineralizaciones barítico-celestínicas provocados por el magmatismo del Grupo Molle redenido por Llambías y Aragón (2011) como Cinturón Andesítico Paleógeno Naunaucó.

Por su parte, Hayase y Bengochea (1975), investigando prácticamente las mismas mineralizaciones barítico-celestínicas, concluyen que los depósitos son epigenéticos y que los procesos predominantes son el reemplazo de niveles calcáreos y el relleno de fracturas por acción de fluidos hidrotermales de filiación magmática. Apoyan su interpretación en la identificación de rasgos de alteración hidrotermal, altas temperaturas de homogenización en inclusiones fluidas de baritinas y celestinas y en evidencias petrográficas de texturas de reemplazo. Asimismo, Angelelli *et al.* (1976) consignan para los depósitos vetiformes un origen epitermal en vinculación con el magmatismo andesítico de edad terciaria. Señalan, además, que los depósitos mantiformes alojados en la secuencia cretácica se habrían formado por reemplazo de un “horizonte calizo cavernoso-lajoso”. Por último, destacan la existencia de una concentración barítica

estratiforme, la mina Arroyo Nuevo. Muchos años después, de Barrio (1999) señala un probable origen por reemplazo de las rocas calcáreas de la Formación Huitrín en un ambiente con valores anómalos de Sr e importante actividad orgánica revelada por la conspicua presencia de laminación algal.

MARCO GEOLÓGICO

El relleno de la Cuenca Neuquina está constituido por rocas clásticas, carbonáticas, evaporíticas, piroclásticas y en menor proporción rocas magmáticas (Legarreta y Gulisano 1989). Los depósitos abarcan desde el más alto Triásico hasta el Terciario Inferior, acumulándose cerca del borde occidental de la placa Sudamericana, entre el arco volcánico implantado hacia el oeste y el antepaís en el flanco oriental (Fig. 1a).

En la región investigada (Fig. 1b), durante el Jurásico Medio se depositó el Grupo Cuyo (Pliensbachiano-Caloviano inferior) conformado por la Formación Los Molles con lutitas negras, limolitas y areniscas depositadas en facies marinas de interior de cuenca, la Formación Lajas (Bajociano-Caloviano) con areniscas finas a gruesas de ambiente marino marginal y la Formación Tábanos (Caloviano) con evaporitas y calizas de centro de cuenca. Por encima (Fig. 1c) se sitúa el Grupo Lotena, depositado entre el Caloviano medio y el Kimmeridgiano inferior, en facies clásticas marinas y continentales, constituido por las Formaciones Lotena (areniscas, conglomerados y arcilitas), La Manga (Oxfordiano, calizas gris azuladas y areniscas subordinadas) y Auquilco (Oxfordiano, evaporitas yesíferas con calcáreos algales laminados intercalados), asociándose a esta última unidad importantes mineralizaciones de Ba-Sr, especialmente en el anticlinal de la sierra de Vaca Muerta. La sedimentación de Grupo Lotena refleja cambios batimétricos en la cuenca (Legarreta y Gulisano 1989) acontecidos durante el Oxfordiano. Así, como resultado de una caída relativa del nivel del mar se pasa abruptamente de una sedimentación en aguas profundas a otra de aguas

someras donde se produjo una desecación de características regionales con la deposición de significativos espesores de rocas evaporíticas. Posteriormente, se instala un ambiente continental donde comienza a desarrollarse el Grupo Mendoza (Kimmeridgiano-Hauteriviano) que se inicia con la Formación Tordillo, de extendida distribución en el cordón Curymil, constituida por areniscas, conglomerados y fangolitas que pasan a un ambiente marino litoral en su parte superior. Esta secuencia clástica está sobrepuesta por las pelitas marinas grises oscuras con intercalaciones de bancos calcáreos de la Formación Vaca Muerta (Tithoniano-Berriasiano) situadas en el límite Jurásico-Cretácico. Continúan los conglomerados y areniscas fluviales en ambientes marginales que se interdigitan con areniscas de plataforma y pelitas negras de interior de cuenca de las Formaciones Quintuco y Mulichinco (Valanginiano). Por encima se ubica la Formación Agrio (Valanginiano superior-Barremiano inferior) constituida por los Miembros Pilmatué (pelitas y coquinas), Avilé (areniscas y limolitas continentales), Agua de la Mula (pelitas, calizas micríticas y coquinas en facies de interior de cuenca a plataforma costa afuera) y Chorreado (calizas y pelitas) de gran distribución areal al norte y al sur de la localidad de Chos Malal. Este último Miembro, si bien tradicionalmente se lo ha incluido en la parte basal de la Formación Huitrín, en la presente contribución y siguiendo a Leanza (2003, 2009) se lo asigna a la parte superior de la Formación Agrio ya que se encuentra genéticamente relacionado a esta unidad y limitado en su techo por una superficie de discordancia. Posteriormente, durante el Barremiano-Aptiano se desarrolla otra entidad estratigráfica de gran importancia por su vinculación espacial directa con los depósitos celestobaríticos, el Grupo Bajada del Agrio (Méndez *et al.* 1995, Leanza y Hugo 2005) que integra a las Formaciones Huitrín y Rayoso. En la región estudiada, la Formación Huitrín (Barremiano superior-Aptiano inferior) está constituida por los Miembros Troncoso inferior (areniscas y limolitas continentales), Troncoso superior (calcáreos laminados algales

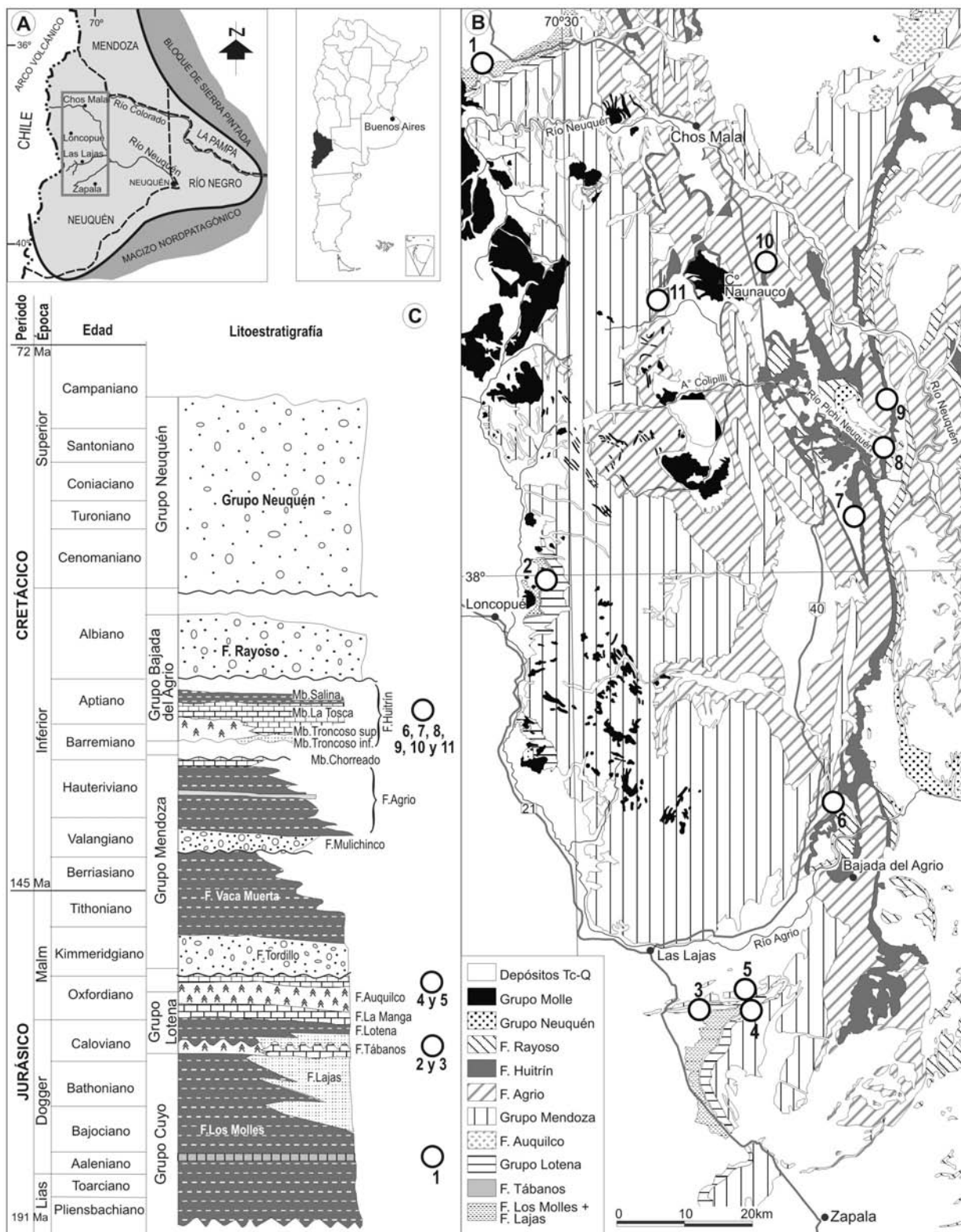


Figura 1: a) Mapa de ubicación del área investigada. b) Mapa geológico de las unidades del intervalo Jurásico Inferior-Paleógeno (modificado de Leanza 2011). c) Perfil columnar litoestratigráfico del intervalo Pliensbachiano-Campaniano (modificado de Howell *et al.* 2005). Principales mineralizaciones de Ba-Sr (○): 1) mina Arroyo Nuevo. 2) área de Loncopué (minas La Rosita y La Florcita), 3) mina San Charbel. 4) mina Achalay. 5) mina Llao Llao, 6) Distrito Bajada del Agrio (minas 3, 4 y 5 de Noviembre, Santa Bárbara y Santa Ana). 7) Cordón del Salado (mina Dios Alado y otras). 8) Grupo Continental (minas Cecilia, Graciela y otras). 9) mina Santa Elena. 10) área Naunaucó-Taquimilán (minas Don Candelario y Clementina). 11) Distrito Colipilli (minas San Eduardo, Julio César, Cerro Diablo y otras).

y evaporitas yesíferas), La Tosca (calizas) y Salina (arcilitas varicolores). Estos miembros representan la evolución de un ambiente continental eólico-fluvial con depositación de sedimentitas clásticas a un ambiente restringido litoral de aguas hipersalinas poco profundas que evolucionó a casi una desecación total con posterior exposición subaérea.

Hacia fines del Cretácico Inferior se produce una fuerte continentalización de la comarca, registrada por las areniscas y arcilitas varicolores de la Formación Rayoso (Aptiano superior-Albiano). En el Cretácico Superior continúan condiciones continentales con la depositación de los conglomerados, areniscas y fangolitas del Grupo Neuquén (Cenomaniano-Campaniano), que culminan la secuencia sedimentaria mesozoica del área investigada. El magmatismo andesítico del sector septentrional de la provincia del Neuquén, representado por el Cinturón Andesítico Paleógeno Naunaucó (Llambías y Aragón 2011) constituye un importante evento tectonomagmático desarrollado entre el Cretácico más Tardío y el Eoceno. Está constituido por las Formaciones Colipilli (Llambías y Rapela 1989, facies intrusiva: sills, diques y lacolitos) y Cayanta (Rapela y Llambías 1985, facies extrusiva: lavas y brechas andesíticas anfibólicas) y se encuentra estrechamente relacionado con parte de las mineralizaciones barítico-celestínicas, en especial en las áreas de Naunaucó, Colipilli, Mallín Quemado y Loncopué.

METODOLOGÍAS DE ESTUDIO

En las diferentes áreas investigadas se efectuaron relevamientos geológicos detallados, tanto de superficie como subterráneos, con levantamiento y muestreo de perfiles columnares, a fin de reconocer las diferentes texturas y estructuras mineralizadas y establecer relaciones laterales y verticales de las mineralizaciones. Las muestras de rocas y minerales fueron sometidas a estudios petrocalcográficos, mineralógicos, geoquímicos (análisis por microsonda electrónica, isótopos estables

y radiogénicos) y de inclusiones fluidas. Se llevaron a cabo 47 análisis de isótopos estables de S ($\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$): 32 en sulfatos (baritinas y celestinas) y 15 en sulfuros, en muestras provenientes de las diferentes yacencias de las principales mineralizaciones barítico-celestínicas. Las determinaciones de las relaciones isotópicas $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ fueron realizadas en el Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad de Salamanca, España. Se efectuaron por métodos espectroscópicos sobre SO_2 obtenido en una línea de alto vacío por combustión en horno tubular a 1070 °C (en sulfuros) y 1150 °C (en sulfatos, con SiO_2 como catalizador). Los procedimientos ejecutados para la combustión de las muestras fueron realizados de acuerdo a Robinson y Kusakabe (1975) para sulfuros y Coleman y Moore (1978) para sulfatos obteniéndose los resultados en un espectrómetro de masas VG Iso-tech Micromass SIRA-II.

En lo referente a la metodología utilizada para el análisis de las relaciones $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sobre muestras de baritinas y celestinas, los ensayos fueron realizados en el Centro de Geocronología y Geoquímica Isotópica de la Universidad Complutense de Madrid. Las mediciones fueron efectuadas en un espectrómetro de masas VG-Micromass Sector 54 (TIMS), con corrección de valores utilizando los estándares isotópicos NBS-987 y errores analíticos referidos a 2σ (0,01 %).

Las inclusiones fluidas fueron estudiadas en una platina de calentamiento-enfriamiento marca Linkam, modelo THMSG 600, con límites de medición entre +600 °C y -180° C, instalada en un microscopio Nikon modelo Optiphot. Los parámetros físico-químicos se determinaron usando el programa FLINCOR versión 1-2-1 (Brown 1989). Los valores microtermométricos calculados fueron temperatura de homogenización (T_h), la temperatura de depresión final del congelamiento de la fase fluida (T_f) y salinidades.

LAS MINERALIZACIONES BARITO-CELESTÍNICAS

Los depósitos de Ba y Sr de la provincia

del Neuquén se distribuyen en grandes áreas pero a su vez denotan una clara tendencia a agruparse en distritos. Presentan una mineralogía sencilla con baritina y celestina (baritocelstinas y celestobaritinas) como minerales ampliamente dominantes, acompañados en algunos casos de proporciones muy minoritarias de sulfuros (galena, esfalerita, pirita, calcopirita) junto a calcita, dolomita y cuarzo. Los depósitos, en líneas generales, se presentan en tres yacencias distintas: vetiforme, mantiforme y cuerpos irregulares por relleno de oquedades formadas por disolución. En un solo caso (mina Arroyo Nuevo) se ha registrado depositación primaria concomitantemente con pelitas en medio sedimentario submarino mientras que en el resto de las mineralizaciones se observa una estrecha vinculación espacial con las secuencias carbonático-evaporíticas jurásico-cretácicas. Las relaciones con la roca alojante y las texturas reconocidas indican que las mineralizaciones son estratoligadas pero de carácter epigenético por reemplazo de rocas carbonáticas y/o niveles de yeso y por relleno de fracturas y cavidades, con posterior removilización por acción diagenética o de procesos hidrotermales de filiación magmática. En lo que respecta a su vinculación espacial con actividad magmática muestran dos modalidades: depósitos espacialmente vinculados a cuerpos ígneos terciarios y sin relación espacial aparente con rocas magmáticas (Cuadro 1).

Depositación hidrotermal en medio sedimentario submarino (sedimentario-exhalativo)

El depósito Arroyo Nuevo (Cura Mallín), situado al ONO de Chos Malal (Fig. 1c) representó una de las concentraciones baríticas económicamente más importantes de la Cuenca Neuquina explotada durante la segunda mitad del siglo XX. El banco mineral (Fig. 2a), con potencias variables entre 2 y 8 m, está constituido esencialmente por baritina de color blanco a grisáceo, de tamaño de grano desde fino a grueso, con pequeñas intercalaciones de niveles cloríticos verde-grisáceos. Asimismo, han sido identificados sulfu-

CUADRO 1: Principales características de las mineralizaciones barítico-celestínicas estudiadas.

| Tipología | Área/ Distrito | Depósito Mineral/ Mina | Yacencia | Procesos genéticos principales | Mineral analizado | $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ (‰) (1) | $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ (‰) (2) y (3) | $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ (‰) (4) | $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ (‰) (5) |
|---|---|-------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|----------------------|---|---|---|---|
| Depósitos Singenéticos (Sedex Ba) | Cura Mallín | Arroyo Nuevo | mantiforme | deposición | baritina | | +14,0/+40,0 | +16,8/+19,9 | |
| | | | | | pirita | | | -7,4/+7,1/+21,9 | |
| | | | | | galena | | | +3,0 | |
| | | | | | esfalerita | | | +11,4 | |
| Depósitos epigenéticos hidrotermales vinculados espacialmente a magmatismo | Loncopué | La Rosita | vetiforme | relleno | baritina | | +10,0/+14,0 | | |
| | | | mantiforme | reemplazo | baritina | +10,6/+13,7 | | +19,4 | |
| | | | vetiforme | relleno | baritina | +20,6 | | +21,8 | |
| | | | vetiforme | relleno | esfalerita | | | -3,9 | |
| | | La Florcita | | relleno | baritina | +20,0 | | +20,9 | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | La Resbalosa | manto | reemplazo | baritina | + 15,7 | | | |
| | | | veta | relleno | baritina | + 17,8 | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | Cerro Mallín Quemado/ Cordón Curymil/ Cuchillo Cura | Achalay | mantiforme | relleno/ reemplazo | baritina | +15,3/+15,5 | | +15,2/+16,4/+16,7 | |
| | | | mantiforme | relleno/ reemplazo | galena | -7,0 | | -2,8/-3,0 | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | Río Agrio | brecha | relleno | baritina | +15,2 | | | |
| | | | vetiforme | relleno | baritina | +15,0 | | | |
| | | | Impregnación | relleno | celestina | +23,7 | | | |
| | | | vetiforme | relleno | baritina | +15,0/+21,8 | | +14,4/+15,2/+16,0 | |
| | | La Porfía | vetiforme | relleno | calcopirita | | | -9,4 | |
| | | | vetiforme | relleno | galena | | | -10,7/-3,4 | |
| | | | vetiforme | relleno | baritina | | +41,8 | +7,7/+21,8 | |
| | | | vetiforme | relleno | baritina | | | | |
| | Colipilli | San Eduardo/ La Bienvenida | mantiforme | reemplazo | celestina | | +18,0/+35,0 | +17,9/+20,7/+34,8 | |
| | | | reemplazo | baritina | | | +13,8 | | |
| | | | reemplazo/ relleno | pirita | | | +10,3 | | |
| | | | relleno | | | | | | |
| | | Don Candelario | mantiforme | reemplazo | baritina | | +16,5 | +15,3/+16,0/+17,2 | |
| | | | vetiforme | relleno | galena | | -17,7 | -10,8 | |
| | | | | relleno | calcopirita | | | -8,1 | |
| | | | | | celestina | | | +13,2 | |
| | Cuchillo Cura | San Charbel | mantiforme | reemplazo | celestina | | +28,0/+40,0 | +17,5 | |
| | | | mantiforme | reemplazo | baritina | | | +27,6 | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | Santa Bárbara | mantiforme | reemplazo | celestina | | | +14,4 | |
| | | | mantiforme | reemplazo | baritina | | | +21,8/+29,2 | |
| | | | vetiforme | relleno | celestina | | | +19,7 | |
| | | | mantiforme | reemplazo | celestina | | | +23,5 | |
| | Cordón del Salado Grupo Continental | Cecilia | mantiforme | reemplazo | baritina | | | +31,5 | |
| | | | estalactítica | deposición | baritina | | | +17,7 | |
| | | | relleno de oquedad | removilización/ relleno | baritina | | | +16,0 | |
| | | | | | | | | | |
| | | Santa Elena | mantiforme | reemplazo | celestina | | | +25,0 | |
| | | | mantiforme | reemplazo | esfalerita | | | +16,4 | +15,0/+15,5/+15,7/ +16,0/+16,5 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | A° Picún Leufú | Puesto Gregor | mantiforme | reemplazo | celestina | | | +25,0 | |
| | | | mantiforme | reemplazo | esfalerita | | | +16,4 | +15,0/+15,5/+15,7/ +16,0/+16,5 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

* Datos de isótopos estables. (1) Del Blanco *et al.* (1992), (2) Brodtkorb *et al.* (1997), (3) Brodtkorb y Danieli (2011), (4) este trabajo, (5) Garrido *et al.* (2000).

ros en el tercio inferior del banco de baritina: esfalerita, galena y calcopirita, con texturas finamente laminadas desde algunos micrones a algunos milímetros de espesor (Fig. 2b), destacándose además pirita en granos idiomorfos y con hábito laminar coloforme (melnikovita, Fig. 2c). Es de señalar que inmediatamente por

debajo del banco barítico, en pelitas de la Formación Los Molles, fue reconocido un pequeño stockwork de aproximadamente 1 m de espesor, constituido por vetillas milimétricas de pirita y de calcita que podría representar parte de los conductos de alimentación de la mineralización. Por su parte, son de destacar en

niveles situados en sectores superiores al manto de Arroyo Nuevo, yacencias vetiformes (Fig. 2d) vinculadas espacialmente al magmatismo terciario del Grupo Molle. Este se manifiesta como diques y stocks andesíticos que cortan la secuencia jurásica y se interpreta, en coincidencia con lo indicado por Brodtkorb y Da-

nieli (2011), que han producido un efecto removilizador del banco barítico que se tradujo en la generación de dos pequeños cuerpos vetiformes, de unos 0,60 m de potencia, que rellenan fracturas verticales de azimut 45° y 60°, constituidos mayoritariamente por baritina acompañada por sulfuros minoritarios de Pb, Zn y Fe.

Depósitos epigenéticos hidrotermales situados en áreas con actividad magmática

Los depósitos barito-celestínicos relacionados a procesos de relleno hidrotermal de tipo vetiforme han sido los primeros en ser explotados en la Cuenca Neuquina. Los laboreos fueron subterráneos o rajos a cielo abierto según la actitud de las vetas o las características topográficas del área de explotación. Posteriormente continuó la actividad extractiva en las yacencias mantiformes o en aquellos sectores que presentaban las mejores leyes como consecuencia de procesos de removilización. Por las características generales de estas mineralizaciones epigenéticas de Ba-Sr se los puede dividir en: 1) estructuras vetiformes, 2) cementación de cuerpos brechosos y 3) estructuras mantiformes.

Estructuras vetiformes: Dentro de este grupo se pueden mencionar como los distritos más importantes a) Loncopué con las minas La Rosita y La Florcita, entre otras, b) cerro Mallín Quemado con las minas Achalay, La Porfía y Río Agrio y c) Cerro Negro de Colipilli (mina Julio César y otras).

En la zona de Loncopué, las vetas de baritina, que se alojan en las areniscas de la Formación Lotena (Fig. 2e), alcanzan varios centenares de metros de longitud y espesores por lo general de hasta 2 m. La baritina es de color blanco, grano grueso y hábito tabular espático. Presentan escasa proporción de sulfuros, esencialmente pirita y esfalerita, y frecuentemente se observan manchas con óxidos de hierro y carbonatos de cobre. Representan rellenos de fracturas de rumbo predominante ONO-ESE con inclinación de 60-70° al N hasta subvertical. Además, están espacialmente asociadas a horizontes carbonáticos que se encuentran parcialmente

reemplazados por baritina. Esta última yacencia es explicada más adelante en el apartado correspondiente a las estructuras mantiformes generadas por procesos de reemplazo. Por otra parte, es dable destacar que en la zona es muy conspicua la presencia de stocks andesíticos pertenecientes al magmatismo eoterciario del Grupo Molle con los cuales las mineralizaciones presentan una estrecha relación espacial.

En el área del cerro Mallín Quemado, ladera occidental de la sierra de Vaca Muerta, se ubican las minas Achalay, Río Agrio y La Porfía. La estratigrafía del área comprende una secuencia marino-evaporítica jurásica integrada por las Formaciones La Manga (calizas fosilíferas) y Auquilco (horizontes yesíferos y calizas algales o boundstones) a las cuales sobreyacen los conglomerados, areniscas y pelitas nerítico-continentales de la Formación Tordillo. Estos depósitos baríticos se encuentran relleno de fracturas de rumbo variable entre NE-SO (Achalay) y NNE-SSO (Río Agrio y La Porfía), con inclinaciones entre subverticales y 60-80° al SE, llegando a los 25-35° SE en La Porfía (Del Blanco y Barbieri 1999). Las corridas van desde un poco más de 200 m (La Porfía) hasta máximos de 1000 m (Achalay). El espesor promedio alcanza los 1,5-2 m, con máximos de 10 m en La Porfía. La roca de caja invariablemente está compuesta por las areniscas de la Formación Tordillo que presentan alteración sericitica y silicea. La mena consiste en baritina (brechosa y bandeada) con cuarzo, carbonatos de Ca, Mn y Fe y muy minoritarias proporciones de galena, tetraedrita, calcopirita, pirita y esfalerita. En las vetas Achalay y Río Agrio, fue identificada además adularia, asociada al cuarzo, minerales característicos de la paragénesis epitermal.

En el sector del Cerro Negro de Colipilli (Llambías y Malvicini 1978) se encuentra un sistema de vetas de rumbo general N-S, subverticales, de alrededor de 1 m de espesor, que cortan a las calizas del Miembro Chorreado o a las rocas diorítico-andesíticas del Grupo Molle. Comprende las minas Julio César, Poco Vales y otras. Están constituidas principalmente por bari-

tina de color blanco, espática y muy minoritarias proporciones de galena y pirita, esta última casi totalmente lixiviada. Asimismo, Llambías y Malvicini (1978) mencionan en el cerro Diablo, situado al norte de Colipilli, el reconocimiento de granos redondeados de oro de 50 µm de diámetro, asociados a sulfuros de metales base, en vetas de baritina encajadas en sedimentitas de la Formación Vaca Muerta y en microdioritas del Grupo Molle. Estos mismos autores, además indican al sur de Colipilli la existencia de vetas de óxidos de Fe asociadas a baritina.

Brechas: En el área de la mina de baritina Achalay, extremo norte del cordón Curymil, también se reconocen depósitos brechosos que han sido asignados a procesos de fricción, de colapso y/o hidrotermales (Navarro 1983, Brodtkorb y Danieli 2011, entre otros). Las brechas de colapso serían la consecuencia de procesos de disolución de niveles yesíferos y/o calcáreos de la Formación Auquilco, que ocasionaron la falta de sustento de la pila sedimentaria suprayacente, constituida esencialmente por areniscas y conglomerados de la Formación Tordillo. En posiciones intermedias entre la veta principal y la estructura mantiforme de la mina Achalay, ambas de composición predominantemente barítica, se explotó un gran cuerpo brechoso de varios centenares de metros de longitud por algunas decenas de metros de espesor, denominado por los mineros como "tubo". Este cuerpo comprendía clastos y bloques de baritina, yeso, calizas y sedimentitas de la Formación Tordillo en disposición caótica y de muy variable volumen, desde algunos centímetros hasta varios metros cúbicos. Admitiéndose un primer brechamiento por colapso gravitacional, la cementación de los fragmentos y bloques por baritina y sílice debe haberse producido posteriormente por la circulación de fluidos desarrollándose la potente brecha hidrotermal. Muchos años antes, Navarro (1983) concibió para este cuerpo brechoso un origen hidrotermal magmático, alojado en una estructura de fallamiento cuya continuidad, con la veta principal, observó en sectores intermedios del yacimiento. A la génesis por colapso más

circulación de fluidos hidrotermales adhirieron Brodtkorb y Danieli (2011).

Se concluye que no obstante los posibles procesos gravitacionales que puedan haber sucedido, la distribución caótica de fragmentos y bloques de muy variadas litologías, muy diferentes tamaños y angulosidad, algunos en posiciones topográficas superiores a su procedencia estratigráfica, son rasgos indicativos de un brechamiento por empuje de fluidos hidrotermales, que inclusive cementaron la brecha con material barítico, en partes dominante y de alta ley, acompañado de sílice y sulfuros de metales base. A su vez, hacia la parte alta de la brecha, denominada “campana del tubo”, la cementación silíceo y carbonática es mucho más intensa y con la baritina con textura maciza, constituyendo el sector donde el “tubo” presenta continuidad con la veta principal de Achalay.

Mineralizaciones estratiformes: Depósitos barítico-celestínicos por procesos de reemplazo, de vinculación espacial estrecha con rocas magmáticas han sido identificados en cuatro sectores: a) Loncopué, b) área de las minas Achalay y Llao Llao, anticlinal de la sierra de Vaca Muerta, c) sector de las minas Don Candelario, Clementina y Taquimilán, al este y norte del cerro Naunauco y d) distrito Colipilli, al OSO del cerro Naunauco.

En la zona de Loncopué se destacan los depósitos de La Rosita, La Resbalosa, Araucana I entre otras, en sectores donde aflora la Formación Tábanos constituida por limolitas calcáreas, pelitas grises, calizas algales y esparíticas. En esta secuencia se observa un manto calcáreo de alrededor de 1 m de espesor, muy diagenizado, conocido localmente como “marmolina” que registra evidencias de intensos procesos de reemplazo por material barítico y silíceo (Fig. 2f). La marmolina está compuesta por un mosaico esparítico de calcita y baritina con marcados rasgos de recristalización que exhiben muy alta ley de BaO. Presentan una muy estrecha relación espacial con stocks andesíticos del magmatismo paleógeno, que intruyen a las areniscas de la Formación Lotena.

Por otra parte, en la mina Achalay mere-

ce destacarse la existencia de baritina en yacencia mantiforme, la cual ha sido objeto de diversas interpretaciones genéticas por distintos autores. El manto barítico (Fig. 2i), de espesor variable entre 1 y 4 metros y de aproximadamente 30°SE de inclinación, se aloja en la discontinuidad del nivel carbonático cuspidal de la Formación Auquilco y las areniscas de la Formación Tordillo. Unos de los primeros autores en plantear una hipótesis genética para la mineralización de Achalay fueron Hayase y Bengochea (1975) y Hayase *et al.* (1979), quienes consideraron un origen por reemplazo por la acción de fluidos hidrotermales magmáticos. Posteriormente, Leveratto (1982) propuso un origen hidrotermal por reemplazo a partir de soluciones que circularon por la discontinuidad existente entre el yeso de la Formación Auquilco y las sedimentitas de la Formación Tordillo. Asimismo, Navarro (1983) interpreta que el manto corresponde a un relleno hidrotermal de una estructura de fallamiento de poca inclinación, entre 30 y 35° al SE, alojada en la superficie de discontinuidad entre la Formación Auquilco y las pelitas y areniscas de la Formación Tordillo (minas Acha II y Paralelo). Recientemente, Brodtkorb y Danieli (2011) señalan que su génesis es el resultado de la depositación química en ambiente de costa.

En la mina Llao Llao, situada en el extremo norte del cordón de Cuchillo Cura, unos 7 km al oeste de mina Achalay, el esquema estratigráfico es similar al existente en el área del cerro Mallín Quemado, con una secuencia carbonático-evaporítico-clástica jurásica integrada por las Formaciones La Manga, Auquilco y Tordillo. Aquí la mineralización se presenta como bancos de celestina, repetidos por fallamiento inverso, alojados en niveles carbonáticos y como un banco de baritina también asociado al nivel calcáreo de la Formación Auquilco, explotado en forma subterránea. Ambos mantos están estrechamente vinculados a sendos pequeños filones capa andesíticos asignables al Grupo Molle. La celestina es transparente a levemente blanquecina, en partes recristalizada. Presenta texturas cebradas o

DCR, en el sentido de Fontboté y Amsutz (1980, 1983) conformada por capas alternantes en un caso de carbonatos de grano fino y grueso, y en otro por capas de carbonatos alternantes con láminas de celestina. Se observa además la presencia de pirita y marcasita, cuya oxidación se visualiza claramente por las coloraciones castaño rojizas que presentan tanto los niveles celestínicos como las calizas alojantes (Fig. 2k). Por su parte la baritina, reconocible en el nivel -8 de la explotación subterránea, es de color blanquecino rosado y hábito macizo de grano muy fino. Está también asociada a sulfuros de Fe que se encuentran diseminados en múltiples vetillas milimétricas que además se reconocen en las areniscas de la Formación Tordillo, pero en esta ocasión mineralizando las sedimentitas a través de los planos de laminación (Fig. 2j). Se considera entonces que ambas mineralizaciones son la consecuencia del reemplazo hidrotermal de los horizontes calcáreos criptoalgales con posterior relleno de sulfuros en múltiples microfisuras.

En cercanías del cerro Naunauco, situadas al sur y sudeste de la localidad de Chos Malal (Fig. 1b), se encuentran las minas del área de Taquimilán y Don Candelario-Clementina, respectivamente. Están constituidas por celestobaritinas de color castaño, por partes espáticas, con textura cebrada (Fig. 3k) y dolomitización, como principal alteración y escasos sulfuros de Fe. Se presentan en bancos tabulares a lenticulares, de hasta 4 m de espesor que han sido afectados por un fuerte plegamiento. Si bien su rumbo predominante varía escasamente entre NNE-SSO y N-S, su inclinación es muy variable, entre subhorizontal y subvertical, pasando por actitudes de 50-60°, según en qué punto de la estructura plegada se efectúe la observación. El esquema estratigráfico en líneas generales es similar al reconocible en las mineralizaciones celestobaríticas asociadas al Miembro Troncoso superior de la Formación Huitrín de los sectores de Bajada del Agrio y del Grupo Continental. En el distrito Colipilli, situado al OSO del cerro Naunauco (Fig. 1b) se presenta un conjunto de mineralizaciones esen-

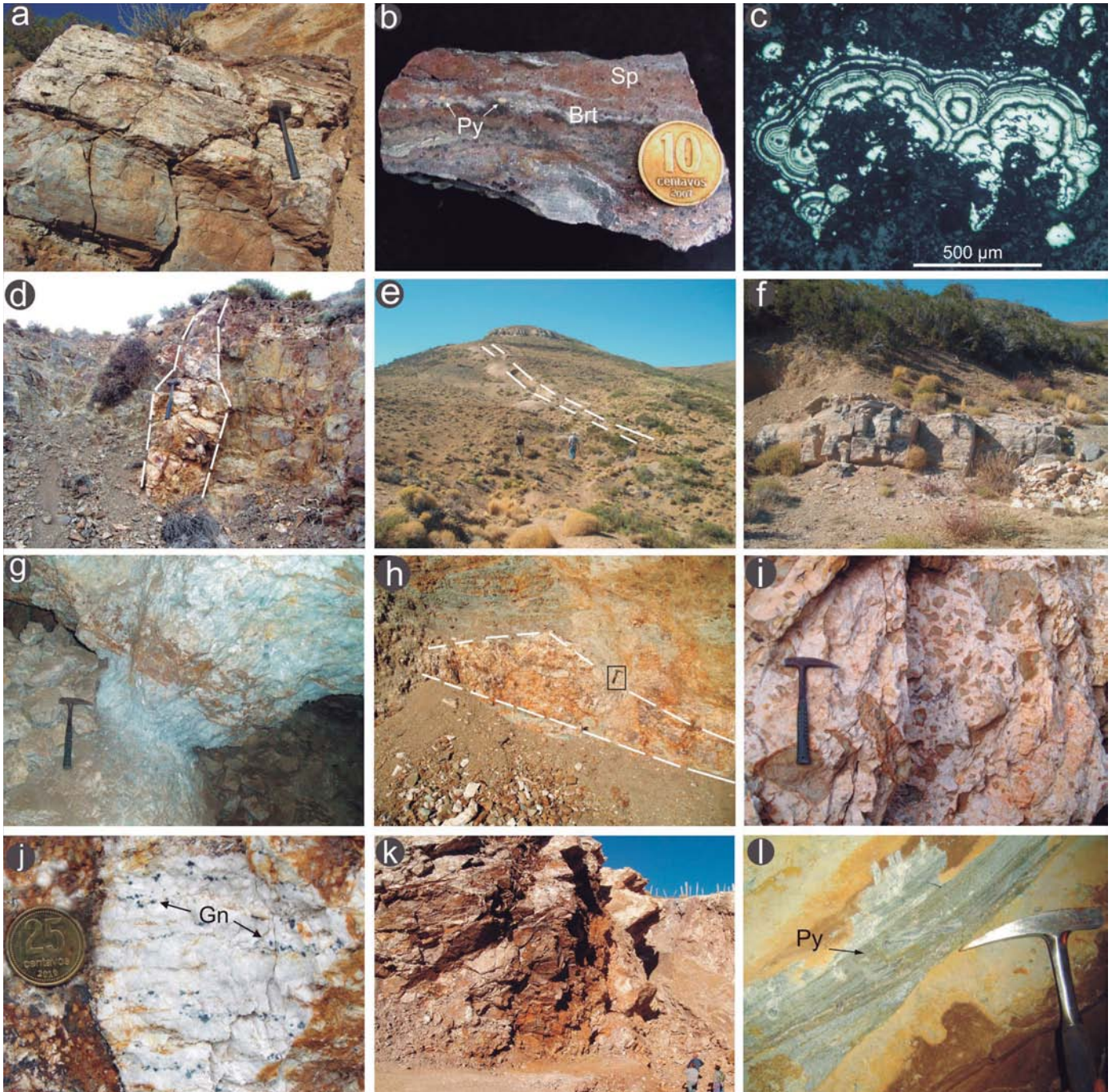


Figura 2: a-d) Mina Arroyo Nuevo, Cura Mallín. a) Banco barítico laminado alojado en pelitas de la Formación Los Molles. b) Muestra de mano donde se observa la textura laminada de baritina (Brt), esfalerita (Sp) y pirita (Py) del tercio inferior del banco barítico, diámetro de moneda = 10 mm. c) Fotomicrografía de sección pulida, nicoles paralelos, mostrando pirita coloidal (melnikovita) con textura coloforme. d) Veta de baritina en niveles superiores del yacimiento. e-f) Mina La Rosita, Loncopué. e) veta de baritina alojada en areniscas de la Formación Lotena. f) Nivel carbonático ("marmolina") de la Formación Tábanos parcialmente reemplazado por baritina. g) Mina San Charbel, cordón de Cuchillo Cura. Vestigios de banco calcáreo de la Formación Tábanos (color castaño) reemplazado por celestina en parte recrystalizada por procesos diagenéticos. h-j) Mina Achalay, área Mallín Quemado. h) Estructura mantiforme de baritina de diseño lenticular, piqueta de escala en recuadro. i) Brecha de estructura mantiforme con clastos de areniscas de la Formación Tordillo cementada por baritina. j) Banco de baritina con textura bandeada y láminas de galena (Gn). Diámetro de la moneda: 23 mm. k-l) Mina Llao Llao: k) Nivel celestínico oxidado en labor a cielo abierto alojado en facies carbonáticas de la Formación Auquilco. l) Pirita (Py) en areniscas de la Formación Tordillo en labor subterránea inmediatamente por encima del banco barítico del nivel -8. Abreviaturas de minerales según Kretz (1983).

cialmente baríticas, asociado íntimamente a niveles carbonáticos laminados que

han sido asignados a la parte cuspidal de la Formación Agrio (Llambías y Malvi-

cini 1978) o al Miembro Troncoso superior de la Formación Huitrín (de Barrio *et*

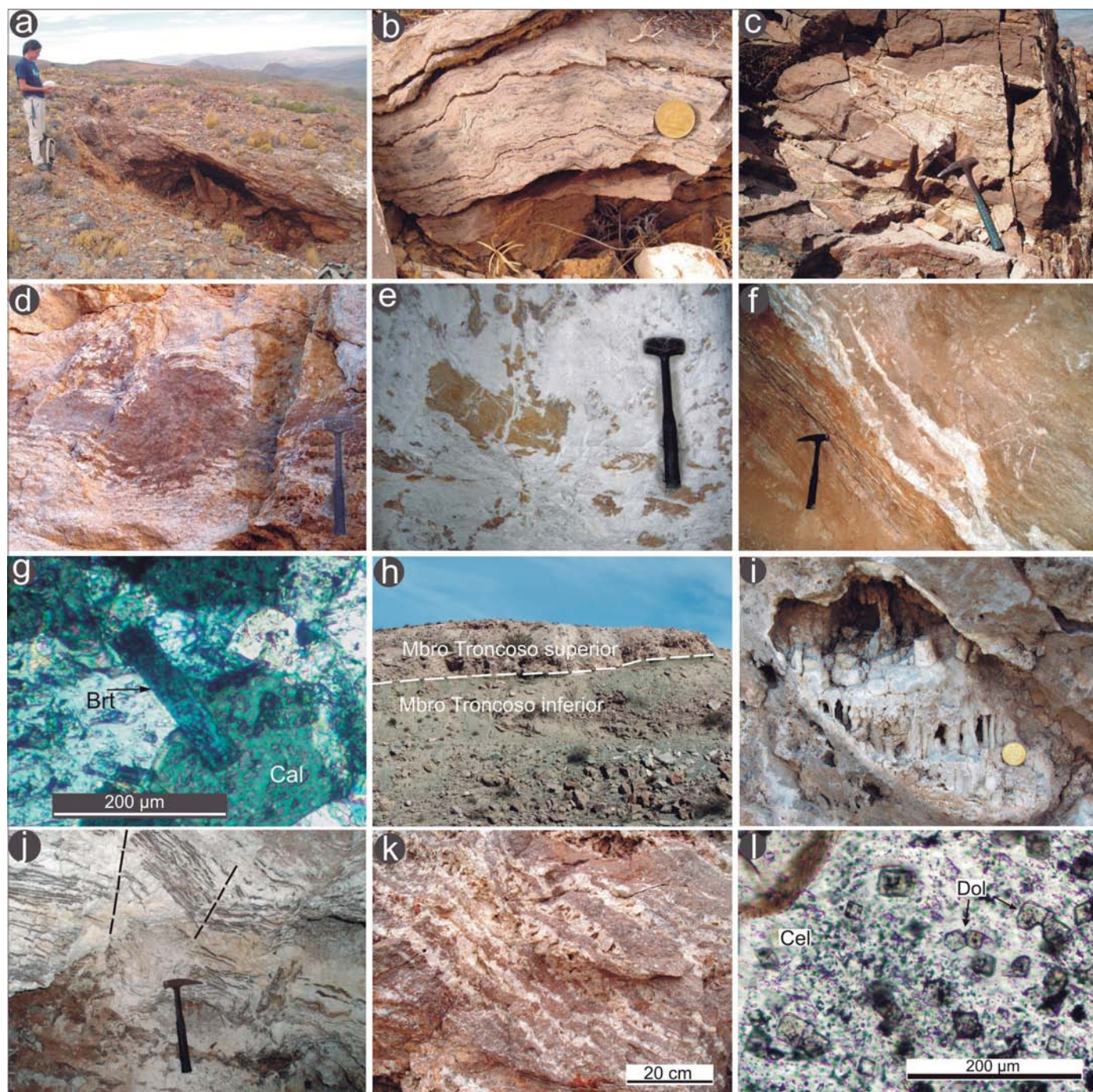


Figura 3: a-c) Distrito Colipilli. a) Labor de explotación de baritina concordante con laminación de calizas algales del Miembro Troncoso superior de la Formación Huitrín. b) Detalle de nivel estromatolítico (boundstone) con reemplazo incipiente por baritina. c) Procesos epigenéticos avanzados (relleno y reemplazo por baritina) en planos preferenciales de laminación algal. d) Distrito Bajada del Agrio, mina 4 de Noviembre. Banco de caliza estromatolítica (color castaño) reemplazado parcialmente por baritocelastina. e-g) Mina Santa Bárbara. e) Vestigios de banco calcáreo del Miembro Troncoso superior de la Formación Huitrín reemplazado por celestobaritina. f) Labor subterránea con vetillas removilizadas de baritocelastina con procesos de relleno y reemplazo a través de planos de laminación algal. g) Fotomicrografía con luz transmitida, nicols cruzados, mostrando cristal prismático de baritina reemplazando a granos carbonáticos de la caliza algal. h-j) Grupo Continental, mina Cecilia. h) Nivel pelítico de Miembro Troncoso inferior inmediatamente subyaciendo al nivel mineralizado del Miembro Troncoso superior. i) Pequeña cavidad kárstica con estructuras estalactíticas de baritina en boundstones del Miembro Troncoso superior. j) Ritmitas cebradas disturbadas por recristalización de baritocelastina y procesos de cizalla (línea de trazos). k-l) Mina Don Candelario, área al este de cerro Naunaucó. k) Textura cebrada de bandas claras (celestina) y bandas castañas (carbonato+celestina). l) Dolomitización incipiente (cristales romboédricos, Dol) en banco calcáreo reemplazado por celestina. Diámetro de la moneda: 23 mm. Abreviaturas de minerales según Kretz (1983).

al. 2009). Las minas más importantes son San Eduardo y La Bienvenida, donde los

procesos de reemplazo han sido relevantes, acomodándose concordantemente la

mineralización al rumbo e inclinación de los estratos cretácicos (Fig. 3a). La estruc-

turas estromatolíticas son abundantes (Fig. 3b), presentando en casos vestigios relictos de la laminación con reemplazo del mosaico calcítico por baritina (Fig. 3c). Por sectores se observan además niveles laminados originalmente yesíferos que han experimentado procesos de reemplazo por carbonato y baritina. En la mina San Eduardo se observa además una textura brechosa donde el sulfato de Ba ha cementado a clastos de caliza. Asimismo se ha superpuesto a la mineralización barítica una paragénesis de sulfuros de metales base (galena, esfalerita, calcopirita y pirita) que conforman estructuras brechosas, asociadas a fallamiento. Esta paragénesis sulfurosa se la considera asociada al evento hidrotermal relacionado con el magmatismo andesítico del Grupo Molle que se manifiesta en la zona como abundantes filones capa, lacolitos, pequeños stocks y flujos lávicos. A esta actividad ígnea con procesos metasomáticos asociados, también se le atribuye la generación de óxidos de Fe (fundamentalmente magnetita y en menor proporción hematita) que se alojan en superficies de discontinuidad de las calizas con los cuerpos andesíticos o reemplazan a las rocas carbonáticas.

Depósitos epigenéticos hidrotermales emplazados en áreas sin actividad magmática

Las mineralizaciones barítico-celestínicas epigenéticas sin vinculación espacial directa con rocas magmáticas han sido reconocidas esencialmente en dos definidos horizontes estratigráficos: en niveles carbonáticos de la Formación Tábanos (Jurásico Medio) y en horizontes carbonáticos y/o yesíferos de los Miembros Troncoso superior y La Tosca de la Formación Huitrín (Cretácico Inferior). Los depósitos vinculados a la Formación Tábanos se encuentran situados en el faldón austral del Cordón de Cuchillo Cura (Fig. 1b). Se presentan marcadamente relacionados a niveles carbonáticos, con laminación algal, que limitan en su techo y en su base al banco mineralizado. Se trata de los depósitos celestínicos de las minas San Charbel, La Sorpresa, La Lía y otras.

El banco celestínico de unos 2 metros de espesor, presenta signos evidentes de procesos de reemplazo (Fig. 2g), es de aspecto tabular a lenticular, pasando lateralmente a materiales carbonáticos con marcados rasgos de recrystalización diagenética. La mina presenta una textura laminar o bandeado rítmico cebrado, definida como DCR (ritmitas de cristalización diagenética) por Fontboté y Amstutz (1983), donde se visualiza una definida alternancia de capas carbonáticas y celestínicas, generada a partir de la laminación algal.

En lo que respecta a las mineralizaciones celestobaríticas asociadas a los Miembros Troncoso superior y La Tosca de la Formación Huitrín, se sitúan en una faja de rumbo meridiano de aproximadamente 100 kilómetros de longitud entre las localidades de Chos Malal por el norte y Zapala por el sur (Fig. 1b). Las más representativas son las del distrito Bajada del Agrio (minas 3, 4 y 5 de Noviembre, Fig. 3d; Santa Bárbara, Fig. 3e, f y g, y Santa Ana, entre otras), Sierra de Chorriaca, Cordillera del Salado (minas Dios Alado, El Minarete, Los Robertos, etc.), Grupo Continental (con las minas Cecilia, Graciela, La Alondra, Fig. 3h, i y j, y otras), mina Santa Elena y Balsa Huitrín. En el área de Bajada del Agrio la celestobaritina se circunscribe a los niveles carbonáticos o yesíferos laminados, ya sea por procesos de reemplazo (Miembro Troncoso superior) o por procesos de relleno de fracturas y oquedades (Miembro La Tosca), siendo en este último caso mucho más barítico y por lo tanto de mayor densidad el material explotado.

En todas estas mineralizaciones de Sr-Ba existen varios elementos metalotécticos que se consideran han sido determinantes en mayor o menor grado para la generación de los depósitos: a) presencia de niveles carbonáticos (boundstones) muy reactivos a procesos físico-químicos de disolución y reemplazo por circulación de fluidos hidrotermales, b) en los boundstones, existencia de laminación algal y bioconstrucciones estromatolíticas, que han desempeñado un papel importante por su alta porosidad para la circulación de esos fluidos (de Barrio *et al.*

2009, de Barrio y Vergani 2011), c) niveles yesíferos evaporíticos laminados, frecuentemente reemplazados por carbonato de calcio, también de alta reactividad frente a la circulación de fluidos, d) un horizonte pelítico (Fig. 3h), omnipresente, en general constituido por limolitas arcillosas algo arenosas, de coloraciones gris verdosas, asignable a la parte cuspidal del Miembro Troncoso inferior, que ha actuado como nivel semiconfinante de los fluidos acuosos infrayaciendo a los horizontes mineralizados con sulfatos, y e) un ambiente hipersalino de aguas someras de interior de cuenca que coexistió con el ambiente restringido marginal de gran actividad orgánica (matas algales), que representan las posibles fuentes de proveniencia del sulfato y del Sr.

Por otra parte, es de destacar que la exposición subaérea de los horizontes carbonáticos y yesíferos del Miembro Troncoso superior propició la generación de un ambiente kárstico, generándose cavidades, oquedades y orificios de muy variadas dimensiones, desde unos pocos milímetros hasta varios metros de diámetro. Muchas veces esas cavidades son de morfologías alargadas favorecidas por la estructura laminar algal de los boundstones. En las cavidades kársticas la circulación de fluidos acuosos hipersalinos ha provocado la generación de estalactitas y estalagmitas (Fig. 3i), de coloraciones blanquecinas a celestes. Numerosas determinaciones difractométricas realizadas (de Barrio *et al.* 2008) confirman que los procesos de removilización de materiales originalmente con predominancia de Sr sobre el Ba, precipitan posteriormente como sulfatos ricos en Ba, que indistintamente tienen coloraciones blanquecinas o fuertemente celestes, estas últimas, llamativamente, con valores porcentuales muy bajos en SrO.

Los mejores ejemplos de los procesos kársticos señalados corresponden a las minas del Grupo Continental (minas Graciela, Cecilia y otras) y Santa Elena, situadas entre los ríos Pichi Neuquén y Neuquén, y en mucha menor medida las minas 4 de noviembre y Santa Bárbara del área de Bajada del Agrio (Fig. 1b). En las minas Graciela, Cecilia, La Alondra y

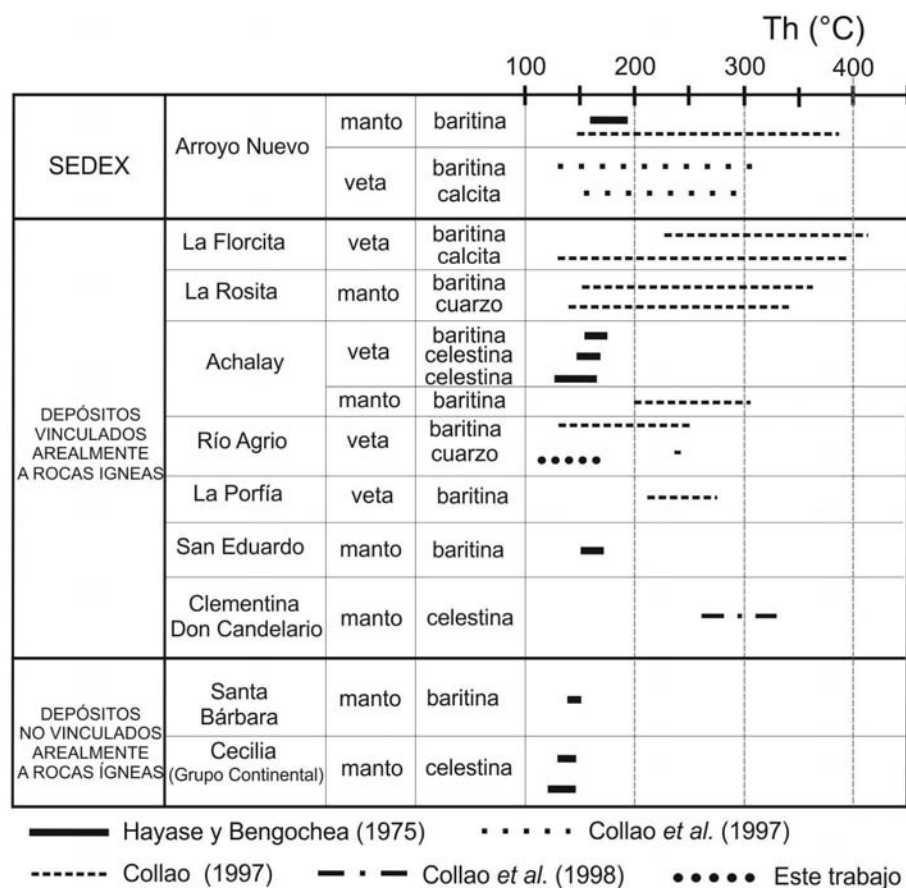


Figura 4: Datos de temperaturas de homogenización (Th °C) correspondientes a baritinas, celestinas, cuarzo y calcita de diversos depósitos de Ba y Sr de la Cuenca Neuquina.

Santa Elena, son numerosas las oquedades y cavidades tapizadas generalmente con baritoceléstinas en hábito concrecional-fibroso y mamelonar-botroidal (Fig. 3i), muchas veces también precipitadas sobre fragmentos y clastos de rocas carbonáticas algales.

CONSIDERACIONES GENÉTICAS Y DISCUSIÓN

Las observaciones de campo sumadas a los datos mineralógicos, petrográficos, sedimentológicos y geoquímicos obtenidos en la presente investigación han permitido replantear concepciones genéticas y postular algunos nuevos modelos geológicos para el conjunto de las mineralizaciones barito-celestínicas estudiadas. Para el depósito de Arroyo Nuevo, sobre la base de estudios de isótopos de S y Sr realizados en baritinas, Brodtkorb y Danieli (1999, 2011) señalaron que el Ba pu-

do haber derivado de una fuente volcánogénica submarina asociándose con el sulfato del agua de mar en un ambiente de costa afuera. Procesos volcánicos coetáneos con la sedimentación jurásica fueron mencionados por Llambías y Leanza (2005) quienes reconocieron depósitos laháricos intercalados en las sedimentitas de la Formación Los Molles en la zona de Chacay Melehue, a unos 15 kilómetros al NE de Arroyo Nuevo. Sin embargo, en las inmediaciones de la mina Arroyo Nuevo la espesa secuencia pelítica con aislados niveles de tobas de caída y areniscas tobáceas de la Formación Los Molles no exhibe evidencias directas de conexión de la mineralización barítica con actividad volcánica jurásica.

Los datos de inclusiones fluidas disponibles hasta el presente son contrastantes. Hayase y Bengochea (1975) señalan un rango de Th relativamente bajo para la baritina de Arroyo Nuevo, entre 161°C y

187°C (Fig. 4), que consideran coherente con el carácter hidrotermal de los fluidos responsables de la mineralización mantiforme. Por su parte, Collao (1997) obtuvo Th variables entre 146°C y 383°C (Fig. 4) y salinidades mayoritariamente fluctuantes entre 0,2 y 11,4 % en peso equivalente de NaCl. Este autor considera que estos datos reflejan la existencia de soluciones hidrotermales derivadas de cuerpos intrusivos y de procesos hidrotermales quizás exhalativos de baja temperatura. Asimismo, Collao *et al.* (1997) estudiaron las inclusiones fluidas en baritinas y calcitas de las vetas de Arroyo Nuevo, obteniendo Th entre 128°C y 314°C para el sulfato y entre 160°C y 300°C, para el carbonato, con bajas salinidades, entre 1 y 5 % en peso equivalente de NaCl. Estos valores los consideran indicativos de fluidos hidrotermales relacionados a cuerpos intrusivos correspondientes al magmatismo eoterciario.

En la presente investigación se llevaron a cabo análisis de isótopos estables de S ($\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$) en baritinas y sulfuros (pirita, esfalerita, galena) del manto de Arroyo Nuevo (Cuadro 1, Fig. 5). En primera instancia se puede concluir que los resultados de $\delta^{34}\text{S}$ de las baritinas, +16,8 ‰ y +19,9 ‰, son coincidentes con aquellos valores correspondientes a los de mares del Jurásico Medio según la escala establecida por Claypool *et al.* (1980). Por su parte, en los guarismos registrados en sulfuros se puede asumir que existe preliminarmente una considerable variación en los valores de $\delta^{34}\text{S}$ de pirita, entre -7,4 ‰ y +21,9 ‰, similar a lo descrito en el yacimiento tipo sedex de Rammelsberg, Alemania (Rollinson 1993). Los valores negativos, especialmente obtenidos en piritas, pueden corresponder a S procedente de reducción bacteriana o termoquímica abiótica del sulfato del agua del mar mientras que los valores positivos corresponderían a una fuente hidrotermal. Asimismo, los guarismos de isótopos estables de S y de isótopos radiogénicos ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$: 0,70694-0,70752) obtenidos en baritinas del manto y de las vetas por Brodtkorb y Danieli (1999, 2011) y en el presente trabajo (0,707062, Cuadro 2) son ligeramente más

bajos a los del agua marina del Aaleniano superior pudiendo atribuirse este descenso a una pequeña contribución de origen profundo. En resumen, las características mineralógicas y texturales observadas indican que la asociación baritina-sulfuros de Zn, Pb, Cu y Fe reconocida en la yacencia mantiforme se encuentra en equilibrio paragenético. La fina laminación de los sulfuros alojados junto con la baritina en forma concordante con los niveles pelíticos de la Formación Los Molles parece reflejar la generación de la mineralización en un ambiente anóxico de depositación en condiciones de baja energía, coincidiendo con lo señalado por Zappettini (1999) quien asignó el depósito de Arroyo Nuevo a la tipología 8.D. SEDEX Ba. Estas características corresponden, además, con las descritas en los depósitos tipo “Sediment-hosted stratiform deposits” (Gustafson y Williams 1981), o en el sub-tipo de depósitos SEDEX denominado por Jorge *et al.* (1997), “Depósitos de Ba” y más recientemente por Leach *et al.* (2010), “Clastic Dominated Pb-Zn deposits” (CD Pb-Zn). Queda la incertidumbre respecto de la procedencia de los metales que podría estar vinculada a expulsión de salmueras por compactación de sedimentos o a la circulación hidrotermal de fluidos en celdas convectivas a través de la pila sedimentaria.

Para el área de Loncopué, es muy clara la vinculación espacial entre las yacencias mantiforme y vetiforme de los depósitos baríticos con el magmatismo andesítico del Grupo Molle que aflora en la zona como pequeños stocks. Los datos de Th de Collao *et al.* (1997) en baritina y calcita de la veta La Florcita varían entre 219°C y 406°C para el sulfato y entre 126 y 396°C para el carbonato, con salinidades fluctuantes entre 1 y 23 % en peso equivalente de NaCl. Estos autores sostienen que los valores determinados son indicativos de circulación de fluidos hidrotermales asociados a cuerpos intrusivos. A su vez, Brodtkorb y Danieli (2011) consignan valores de $\delta^{34}\text{S}$ en baritina variables entre +10,6 ‰ y +15,7 ‰ para las yacencias mantiformes de La Rosita y La Resbalosa y entre $\delta^{34}\text{S}$ +17,8 ‰ y +20,0 ‰ para las

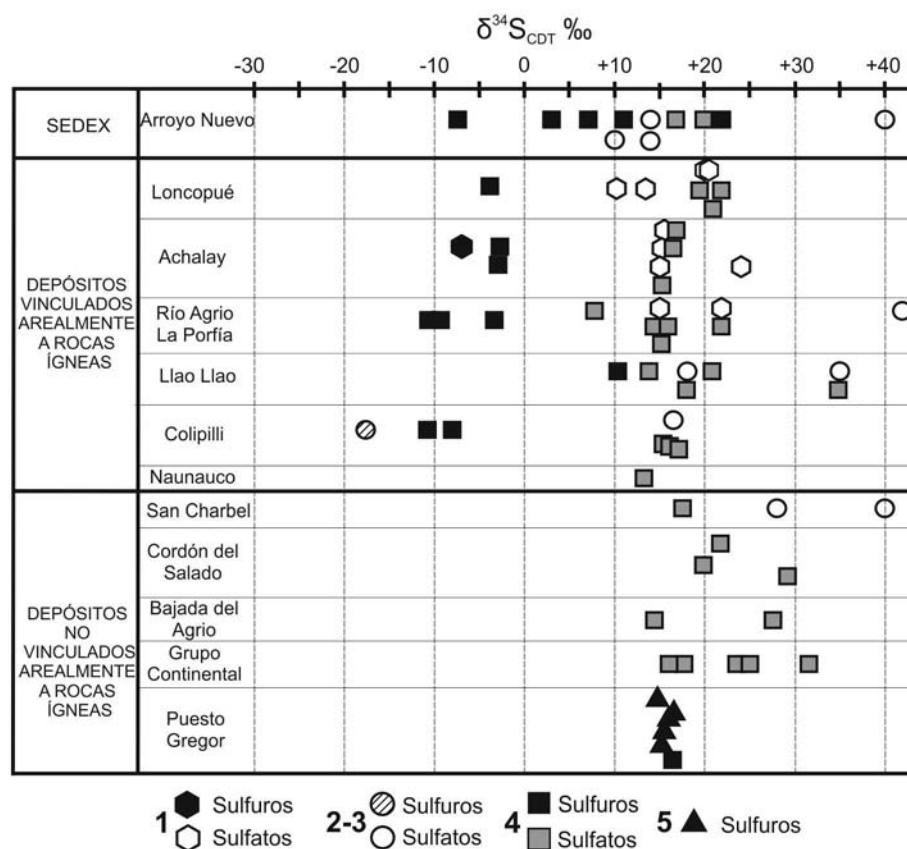


Figura 5: Datos de isótopos estables de $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ de baritinas, celestinas y sulfuros de diferentes mineralizaciones de Ba-Sr de la provincia del Neuquén. (1) Del Blanco *et al.* 1992, (2) Brodtkorb *et al.* (1997), (3) Brodtkorb y Danieli (2011), (4) este trabajo y (5) Garrido *et al.* (2000).

CUADRO 2: Relaciones $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de baritinas y celestinas de algunos depósitos de Ba-Sr de la provincia del Neuquén.

| Procedencia | Mineral | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ |
|---|--------------------|---------------------------------|
| Mina Llao Llao * Cordón Curymil | baritina | 0,707501 |
| Mina San Eduardo * Colipilli | baritina | 0,707062 |
| Mina 4 de Noviembre - Bajada del Agrio | baritina | 0,709568 |
| Mina Cecilia * Grupo Continental | baritina | 0,707993 |
| Mina La Tinaja * (Estado de Coahuila, México) | celestina | 0,707587 |
| Depósitos de Ba-Sr neuquinos (1) y (2) | celestina-baritina | 0,70679/0,70809 |
| Depósitos de Sr y Ba del Estado de Coahuila, NE de México (3 y 4) | celestina-baritina | 0,70731/0,709942 |

* este trabajo, confrontadas con valores de: 1) Brodtkorb *et al.* (1997), 2) Brodtkorb y Danieli (2011), 3) Kesler y Jones (1981), 4) González-Partida *et al.* (2009).

vetiformes (Cuadro 1). Sostienen un origen por depositación en ambiente costero para el manto barítico y por removilización del manto para las vetas. Contrastan estos valores con los obtenidos en la presente investigación, en especial los correspondientes a la baritina de la yacencia mantiforme de La Rosita donde se obtuvo un valor de $\delta^{34}\text{S}$ algo más alto (+19,4 ‰). Por su parte, las determinaciones de $\delta^{34}\text{S}$ en baritinas de la veta ($\delta^{34}\text{S}$ =

+21,8 ‰) de La Rosita y en baritina ($\delta^{34}\text{S}$ = +20,9 ‰) y esfalerita ($\delta^{34}\text{S}$ = -3,9 ‰) de la veta La Florcita (Cuadro 1) son similares con los obtenidos por Brodtkorb y Danieli (2011). En resumen, se considera que los datos de isótopos estables alcanzados son congruentes para ambas yacencias, mantiforme y vetiforme, y compatibles con un origen hidrotermal magmático. En lo que respecta a la mina Achalay, la vinculación espacial del manto barítico

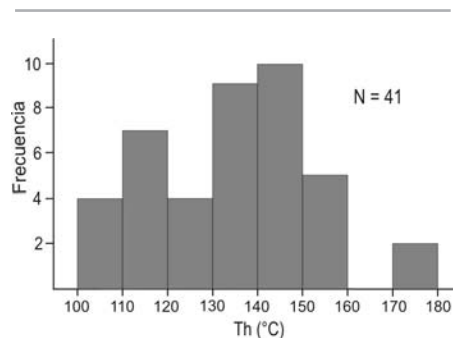


Figura 6: Histograma de frecuencias *versus* Th (°C) de inclusiones fluidas en cristales de cuarzo de la veta principal de la mina Río Agrio.

con el banco carbonático cuspidal de la Formación Auquilco es muy marcada y casi constante a lo largo de todo el yacimiento. Se observan en diferentes sectores, especialmente en los niveles cercanos a la discontinuidad Formación Auquilco-Formación Tordillo, evidencias de reemplazo con rasgos relictuales del laminado algal de las calizas. Sin embargo, en partes parecen visualizarse texturas hidrotermales de relleno con baritina y galena finamente bandeadas (Fig. 2j). En resumen, los procesos de reemplazo y relleno del manto barítico son de variable importancia según el lugar considerado. Por sectores, los procesos de reemplazo hidrotermal en el banco carbonático algal parecen ser predominantes, obliterándose prácticamente en forma total los rasgos texturales sedimentarios originales mientras que en otros los procesos de relleno por fluidos hidrotermales en planos de fractura parecen prevalecer con texturas brechadas (Fig. 2i) y bandeadas. Por otra parte, se han reconocido espejos de fricción y fragmentos angulosos tanto en el plano interestratal como en fracturas transversales al manto, estas últimas de indudable carácter postmineral, que disturbaban acentuadamente la mineralización.

En lo referente a los datos microtermométricos disponibles, determinaciones efectuadas en inclusiones fluidas en baritinas y celestinas de mina Achalay por Hayase y Bengochea (1975) indican temperaturas de homogenización entre 163 °C y 175 °C para la baritina mientras que los valores de Th en celestinas varían entre 128 °C y 169 °C. Por su parte Collao

(1997), estudiando las inclusiones fluidas de baritinas provenientes del manto de Achalay y de las vetas de Río Agrio y La Porfía, obtuvo temperaturas de homogenización con valores fluctuantes entre 200 °C y 312 °C para el primero y entre 126 °C y 273 °C, para las segundas. A su vez, las salinidades promedio medidas fueron de 10,98 % y 4,05 % en peso equivalente de NaCl, respectivamente. Este autor llega a la conclusión de la existencia de dos eventos termométricos de temperatura media y baja, asignables a fluidos hidrotermales generados principalmente por cuerpos plutónicos o subvolcánicos intrusivos. En este sentido, Brodtkorb y Danieli (2011) mencionan que relevamientos sísmicos realizados por YPF detectaron anomalías que podrían corresponder a un probable cuerpo intrusivo en profundidad.

En la presente contribución se llevaron a cabo 41 mediciones en inclusiones primarias reconocidas en cristales de cuarzo asociados paragenéticamente a la baritina de la veta principal de Río Agrio. En general se trata de inclusiones de pequeño tamaño, entre 5 y 15 μm , con máximos excepcionales de hasta 50 μm , de tipo II (bifásicas, L + G), con formas en general rectangulares-ahusadas, donde la fase líquida es ampliamente predominante sobre la gaseosa. Los datos de Th obtenidos fluctuaron entre 104 °C y 178 °C, con un valor promedio de 136 °C, una moda principal entre 140 y 150 °C y una secundaria entre 110 y 120 °C (Fig. 6) mientras que las salinidades son bajas del orden de los 2-3 % peso equivalente de NaCl. Todos estos valores confirman el fuerte carácter epitermal de la mineralización.

Los valores isotópicos obtenidos en baritina y galena del manto de Achalay, entre $\delta^{34}\text{S} +15,2 \text{‰}$ y $+16,7 \text{‰}$ para la primera, y entre $\delta^{34}\text{S} -2,8 \text{‰}$ y $-3,0 \text{‰}$ para la segunda (Cuadro 1), son totalmente congruentes con los registrados en otras investigaciones (Brodtkorb *et al.* 1997, Brodtkorb y Danieli, 2011) y apuntan a un origen hidrotermal magmático tanto para la mineralización mantiforme como la vetiforme.

En resumen, se concluye que por las ca-

racterísticas texturales de la paragénesis baritina-galena, la fuerte oxidación férrica presente, más los rasgos de relleno y reemplazo en zonas de discontinuidades litológicas, sumado a los datos de inclusiones fluidas e isótopos estables de S se considera la mineralización mantiforme de mina Achalay como epigenética, posiblemente asociada a fluidos hidrotermales provenientes de un cuerpo intrusivo no aflorante, cercano a la superficie. A su vez, las mineralizaciones de las vetas de Achalay, Río Agrio y La Porfía con conspicuas paragénesis epitermales de sulfuros en ganga de baritina, cuarzo y adularia se consideran asignables a la acción por lo tanto de fluidos hidrotermales de baja temperatura derivados del magmatismo del Grupo Molle, que en casos rellenaron fracturas y en otros contribuyeron a la generación de estructuras brechosas posiblemente por procesos hidráulicos.

Las características mineralógicas y texturales de las mineralizaciones de Sr-Ba del Arroyo Taquimilán y de las minas Don Candelario-Clementina permiten sostener que estos depósitos han sido sometidos a procesos de reemplazo de niveles carbonáticos y en parte yesíferos por aguas diagenéticas. La posterior circulación de fluidos hidrotermales generó una recristalización intensa y la depositación de pirita. A su vez las soluciones, ricas en hidróxidos de Fe provenientes de esas fases sulfuradas hoy casi completamente lixiviadas, produjeron en los niveles superficiales una profusa tinción rojiza limonítica. Su origen podría estar entonces vinculado al magmatismo terciario andesítico, muy cercano a estos depósitos, que se habrían superpuesto por lo tanto a los procesos de reemplazo. Las Th obtenidas por Collao *et al.* (1998) en las celestobaritinas de Don Candelario y Clementina, con valores variables entre 268 °C y 323 °C y salinidades entre 2,7 % y 7,6 % en peso de NaCl equivalente refuerzan la hipótesis de la acción de fluidos hidrotermales magmáticos.

Para el sector de Colipilli, las yacencias de las mineralizaciones baríticas son bien diferentes. Por un lado, las estruc-

turas mantiformes (minas San Eduardo y La Bienvenida), concordantes con la estratificación de las rocas carbonáticas laminadas, responden a una génesis por reemplazo ya señalada por Llambías y Malvicini (1978). Por el otro, las estructuras vetiformes baríticas con galena que cortan a la secuencia jurásico-cretácica e inclusive a las rocas andesíticas terciarias, responden a procesos de relleno vinculados a fluidos provenientes del magmatismo terciario. Los datos microtermométricos proporcionados por Hayase y Bengochea (1975) que consignaron Th entre 154 y 167 °C para las baritinas mantiformes de San Eduardo señalan fluidos de baja temperatura. Los datos de isótopos de S (entre 15,3 ‰ y 17,2 ‰), por su parte, son congruentes con los de las baritinas consideradas hidrotermales magmáticas de otros depósitos (Cuadro 1) al igual que los valores negativos de $\delta^{34}\text{S}$ obtenidos en galena y calcopirita de la yacencia vetiforme (-8,1 ‰ y -10,8 ‰) que refuerzan la hipótesis del origen magmático para los fluidos mineralizantes.

En las mineralizaciones barito-celestínicas emplazadas en áreas sin vinculación con actividad magmática y que están relacionadas a los niveles estratigráficos carbonáticos de la Formación Tábanos en el cordón Curymil y del Miembro Troncoso superior de la Formación Huitrín (minas 3, 4 y 5 de noviembre, Santa Bárbara, Grupo Continental y Santa Elena, entre otras) los rasgos generales reconocidos definen algunas afinidades con características de los yacimientos tipo Valle del Mississippi (MVT). Así, estos depósitos no presentan relación espacial con rocas ígneas y muestran evidencias de reemplazo y disolución de la roca carbonática y/o yesífera. Los datos microtermométricos aportados por Hayase y Bengochea (1975) con Th entre 136 °C y 144 °C para las celestinas de Santa Bárbara y Cecilia, marcan un rango térmico compatible con procesos diagenéticos que en un ambiente kárstico, han generado por disolución múltiples oquedades y cavidades, espacios donde posteriormente se produjo precipitación de los sulfatos de Ba y Sr. Los valores isotópicos de $\delta^{34}\text{S}$ obtenidos en muestras de celesto-

baritinas de estos depósitos son en general coherentes con los correspondientes a aguas marinas mesozoicas, indicando que su procedencia podría estar relacionada a sulfatos de agua de mar como los existentes en los ambientes evaporíticos de esos tiempos. La lixiviación del anión sulfato producida en la pila sedimentaria evaporítica sumada a la del Sr en las secuencias carbonáticas y del Ba en sucesiones clásticas, puede haber aportado los elementos necesarios para la formación de celestinas y baritinas. En este sentido, cabe destacar que Garrido *et al.* (2000) consignan un depósito de Zn(Pb) en Puesto Gregor, en cercanías del Arroyo Picún Leufú al sur de Zapala, como perteneciente a una tipología de depósitos Mississippi Valley. Obtuvieron datos de $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ en esfaleritas de un nivel carbonático dolomitizado de la Formación Lajas, en un sector donde no hay relación espacial con actividad magmática. Los valores son uniformemente positivos fluctuando en un rango muy estrecho entre $\delta^{34}\text{S} + 15,0$ y $+ 16,5$ ‰ coincidentes con el alcanzado en el presente trabajo ($+16,4$ ‰, Cuadro 1, Fig. 5).

Isótopos radiogénicos: Fueron calculadas las relaciones $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en sulfatos de Ba y Sr de varios de los depósitos estudiados en la provincia del Neuquén y de una muestra procedente del yacimiento celestínico La Tinaja, estado de Coahuila, noreste de México (Cuadro 2). Los datos muestran una marcada uniformidad, revelando corresponder a materiales evolucionados con relaciones variables entre 0,707062 y 0,707993. Comparados con los valores publicados por Brodtkorb *et al.* (1997) y Brodtkorb y Danieli (2011) para varios de los depósitos barito-celestínicos neuquinos (entre 0,70679 y 0,70809), se observa una marcada congruencia a pesar de las distintas situaciones geográficas y diversas yacencias, ya sea para los depósitos alojados tanto en secuencias jurásicas como en las cretácicas. Asimismo, esta correspondencia se mantiene con los valores reportados por Kesler y Jones (1981) y González-Sánchez *et al.* (2009) en los depósitos de Ba y Sr alojados en la secuencia jurásico-cretácica del Estado de Coahuila del noreste de México. Los guarismos al-

canzados en esas investigaciones fluctúan entre un mínimo de 0,70731 y un máximo de 0,709942, considerándose los fluidos mineralizantes como procedentes de niveles corticales evolucionados.

Las mineralizaciones situadas en áreas vinculadas espacialmente al magmatismo terciario (por ejemplo minas Llaolao y San Eduardo) presentan relaciones $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ más bajas (0,707501-0,707062) que aquellos depósitos, también epigenéticos, pero no asociados espacialmente a magmatismo visible (4 de Noviembre y Cecilia; 0,707993-0,709568). Asimismo, el magmatismo terciario andesítico del Grupo Molle presenta en el área de Colipilli una relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ que se sitúa típicamente en el entorno de 0,70454 (Brodtkorb *et al.*, 1989), marcadamente más baja que aquella determinada en las mineralizaciones estudiadas. La relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ medida en los depósitos asociados a magmatismo es, sin embargo, relativamente próxima a la propia del agua marina de una edad equivalente (McArthur *et al.*, 2001). En cambio, en aquellos depósitos sin relación espacial con magmatismo, la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ es marcadamente más elevada que aquella de las aguas marinas coetáneas. En base a tales observaciones cabría descartar, por lo tanto, una contribución importante de Sr derivado de las rocas ígneas terciarias. En el mejor de los casos las andesitas pudieron haber contribuido a un muy leve descenso del valor de la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en los fluidos mineralizadores. Se infiere entonces, que el magmatismo probablemente fue el agente motorizante que puso en marcha la circulación de las soluciones hidrotermales, pero no la fuente de las mismas; al menos no en proporciones apreciables.

Por otra parte, si bien existen pocos datos respecto de las relaciones isotópicas de Sr en rocas sedimentarias de las secuencias jurásico-cretácicas de la Cuenca Neuquina, es muy probable que tanto el grueso del fluido mineralizador como los aniones y cationes que posteriormente precipitaron, procedan del encajante regional de la mineralización y no de las aguas coetáneas. La variación de relaciones

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ observada (Cuadro 2) debería ayudar a acotar el camino de los fluidos por comparación con relaciones similares en la pila sedimentaria regional.

CONCLUSIONES

- Los depósitos barítico-celestínicos de la provincia del Neuquén representan un numeroso conjunto de mineralizaciones hidrotermales de amplia distribución regional con un marcado carácter estratoligado, relacionados mayoritariamente con los niveles calcáreos y yesíferos de las secuencias carbonático-evaporíticas del intervalo Jurásico Medio-Cretácico Inferior.

- Las características estratigráficas, mineralógicas, petrográficas-texturales, geoquímicas y de inclusiones fluidas permiten sostener un carácter epigenético para la gran mayoría de los depósitos mantiformes de Ba y Sr de la Cuenca Neuquina. La excepción la constituye el yacimiento Arroyo Nuevo que correspondería a una depositación de baritina y sulfuros en fondo marino (depósito tipo SEDEX Ba) asociada a la emisión de fluidos exhalativos coetáneos con la sedimentación pelítica de la Formación Los Molles.

- Las características texturales observadas en depósitos celesto-baríticos de las áreas de cordón Curymil, Bajada del Agrio, Grupo Continental y cordillera del Salado, con bandeados y laminados (textura DCR) constituidos esencialmente por la alternancia de capas de celestobaritinas con carbonatos, donde además se reconocen fragmentos relictuales de las rocas carbonáticas originales y de los niveles yesíferos, revelan procesos de reemplazo que en algunos casos denotan rasgos de dolomitización. En este punto cabe resaltar la omnipresencia de horizontes con laminación algal, muchas veces asociados a bioconstrucciones estromatolíticas. Estos horizontes han desempeñado un rol fundamental en la generación de las mineralizaciones, especialmente para aquellas mayoritariamente celestínicas del Miembro Troncoso superior de la Formación Huitrín, constituyendo niveles permeables para la circulación de fluidos y altamente

reactivos para los procesos de disolución con posteriores procesos de reemplazo y relleno de oquedades. Las características mineralógicas, texturales y estratigráficas son similares a las observadas en los yacimientos de Ba y Sr de la cuenca jurásico-cretácica de Sabinas, estado de Coahuila, NE de México (Tritlla *et al.* 2006, González-Sánchez *et al.* 2009), considerados como pertenecientes a la tipología MVT y de la cuenca terciaria de Granada, sur de España (Torres Ruiz, 2008) donde el sulfato de Sr se aloja por procesos de reemplazo preferentemente en los abultamientos estromatolíticos, en la zona de mezcla de acuíferos costeros y salmueras de cuenca ricas en Sr y sulfatos.

- En lo que respecta a la procedencia de esos fluidos hidrotermales responsables de las mineralizaciones se pueden sostener dos posibles alternativas genéticas. Por un lado un origen relacionado a la circulación de fluidos como consecuencia de la actividad removilizadora del magmatismo terciario del Grupo Molle (depósitos de las áreas de Loncopué, Mallín Quemado, Llao Llao, Colipilli), y por el otro, una génesis relacionada con fluidos hidrotermales provenientes de salmueras de cuenca o aguas formacionales (distrito Bajada del Agrio, Grupo Continental, mina Santa Elena). En el primer caso, es destacable mencionar el relleno de fracturas y brechas, con paragénisis epitermales (vetas Achalay y Río Agrio) y los procesos de reemplazo que se circunscribieron a niveles carbonáticos y yesíferos mesozoicos. Por su parte, el modelo que propone la acción de salmueras cuencales, explicaría también la lixiviación de elementos metálicos a través de la pila sedimentaria (esencialmente Ba y Sr de rocas silicoclásticas y carbonáticas, respectivamente) y azufre (proveniente de los niveles yesíferos evaporíticos), durante la tectónica compresiva terciaria. Cuando las condiciones físico-químicas fueron favorables, se propició el reemplazo y depositación fundamentalmente de especies sulfatadas de Ba y Sr, generándose paragénisis simples prácticamente monominerálicas (celestobaritinas o baritocelestinas).

- Los procesos de removilización y lixiviación vinculados al evento tectono-magmático del Grupo Molle, se habrían sucedido a través de celdas convectivas, hipótesis ya señalada por Llambías y Malvicini (1978) para los depósitos barítico-polimetálicos del área de Colipilli. Por lo expresado, se estima que el lapso de generación de las mineralizaciones barítico-celestínicas puede estar circunscripto a tiempos eoterciarios.

- Para el área de Colipilli, las paragénisis presentes, con la identificación de óxidos de Fe, sulfuros de Cu y contenidos de oro, asociadas al magmatismo calcoalcalino andesítico-diorítico eoterciario del Grupo Molle podrían corresponder a una tipología de depósitos IOCG (*iron oxide-copper gold deposits*) que constituiría un modelo genético no conocido hasta el presente en la región.

- El conjunto de la información consignada ha posibilitado elaborar un esquema evolutivo-genético general para los depósitos barítico-celestínicos investigados. No obstante, quedan algunos aspectos metalogénicos no suficientemente resueltos. La prosecución de futuras investigaciones permitirá seguramente avanzar en el conocimiento de los procesos mineralogénicos actuantes de tal manera de arribar, con mayor certeza, a modelos genéticos que se adecuen más ajustadamente a la diversidad de los depósitos barítico-celestínicos de la provincia del Neuquén.

AGRADECIMIENTOS

Las investigaciones realizadas fueron financiadas por el proyecto PIP-CONICET N° 0285 2010-2012 y por los Proyectos 11N540 y 11N692 (FCNyM-UNLP). Se agradece al Dr. Fernando Tornos (IGME) por la realización de los análisis de Rb/Sr. El agradecimiento se hace extensivo al árbitro Dr. Pablo Leal por la lectura crítica del manuscrito.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Angelelli, V., Schalamuk, I.B. y Arrospide, A. 1976. Los yacimientos no metalíferos y rocas de aplicación de la región Patagonia-Coma-

- hue. Secretaría de Estado de Minería, Anales 17: 1-146, Buenos Aires.
- Brodtkorb, M.K. de y Danieli, J.C. 1999. El depósito de baritina Arroyo Nuevo, Neuquén. En Zappettini, E. (ed.) Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35: 1047-1049, Buenos Aires.
- Brodtkorb, M.K. de y Danieli, J.C. 2011. Yacimientos de baritina y celestina. En Leanza, H., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés, J. (eds.) Relatorio Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén, 18° Congreso Geológico Argentino, Recursos Minerales 62: 745-754, Buenos Aires.
- Brodtkorb, M.K. de, Ramos, V.A. y Ametrano, S. 1975. Los yacimientos estratoligados de celestina-baritina de la Formación Huitrín y su origen evaporítico. Provincia del Neuquén. Argentina. 2° Congreso Ibero-americano de Geología Económica, Actas 2: 143-168, Buenos Aires.
- Brodtkorb, M.K. de, Ramos, V.A., Barbieri, M. y Ametrano, S. 1982. The evaporitic celestite-barite deposits of Neuquén, Argentina. *Mineralium Deposita* 17: 423-436.
- Brodtkorb, M.K. de, Schalamuk, I.B. y Ametrano, S. 1989. Celestite and barite stratabound orefields in Argentina. En Brodtkorb, M.K. de (ed.) Non-Metalliferous stratabound orefields: 41-68, Van Nostrand, New York.
- Brodtkorb, M.K. de, Barbieri, M., Zák, K., Hladíková, J., Tassinari, C., Ametrano, S., Etcheverry, R., de Barrio, R.E., Del Blanco, M. y Danieli, J.C. 1997. Isotope Data on barite and celestite deposits related to three Mesozoic evaporitic events of the Neuquén Basin, Argentina. *International Geology Review* 39: 307-316.
- Brown, E., 1989. Flincor: Department of Geology and Geophysics. University of Wisconsin, Madison: 1-18.
- Claypool, G.E., Holser, W.T., Kaplan, I.R., Sakai, H. y Zák, I. 1980. The age curves of sulphur and oxygen isotopes in marine sulphates and their mutual interpretation. *Chemical Geology* 28: 199-260.
- Coleman, M. L. y Moore, M. P. 1978. Direct reduction of sulfates to sulfur dioxide for isotopic analysis. *Analytical Chemistry*, 50: 1594-1595.
- Collao, S. 1997. Inclusiones fluidas en los depósitos de barita y celestita de la provincia de Neuquén, Argentina. Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción, Chile, (inédito), 18 p., Concepción.
- Collao, S., Brodtkorb, M.K. de y Etcheverry, R.O. 1997. Inclusiones fluidas en baritas recristalizadas de los yacimientos de la provincia de Neuquén, Argentina. 8° Congreso Geológico Chileno, Actas: 901-905, Santiago de Chile.
- Collao, S., Brodtkorb, M.K. de y Etcheverry, R. 1998. Inclusiones fluidas en celestinas de los yacimientos de la Formación Huitrín, provincia de Neuquén, Argentina. 40° Congreso Brasileiro de Geologia. Anais: 174, Belo Horizonte.
- de Barrio, R.E. 1999. Los depósitos de celestina (baritina) relacionados a la Formación Huitrín, provincia del Neuquén. En Zappettini, E. (ed.) Recursos minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35, 2: 1095-1102, Buenos Aires.
- de Barrio, R.E. y Vergani, G.D. 2011. Las mineralizaciones de celestina-baritina y la Formación Huitrín (Cretácico Inferior), provincia del Neuquén. 18° Congreso Geológico Argentino, Resúmenes: 1084-1085, Buenos Aires.
- de Barrio, R.E., Botto, I.L., Del Blanco, M.A., García, M.L., Ramis, A. y Ametrano, S. 2008. Características mineralógicas y espectroscópicas (FTIR) de baritinas y celestinas (FTIR) de sulfatos de Ba y Sr de depósitos emplazados en la secuencia jurásico-cretácica de la Cuenca Neuquina. 9° Congreso de Mineralogía y Metalogenia (MINMET)-17° Congreso Geológico Argentino, Actas: 9-16, Jujuy.
- de Barrio, R.E., Del Blanco, M.A., García, M.L. y Martín Izard, A. 2009. Estructuras estromatolíticas y su relación con las mineralizaciones de Ba-Sr emplazadas en la Formación Huitrín, Cuenca Neuquina. 9° Congreso Geológico Económico, Actas: 45-51, Catamarca.
- Del Blanco, M.A. y Barbieri, M., 1999. Depósitos de baritina y celestina asociados a las Formaciones La Manga y Auquilco, Mendoza y Neuquén. En Zappettini, E. (ed.) Recursos Minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35: 1057-1069, Buenos Aires.
- Del Blanco, M.A., Brodtkorb, M.K. de, Hladíková, J., Zák, K. y Barbieri, M., 1992. Composición isotópica de azufre y estroncio de depósitos de baritina y celestina relacionados a las Formaciones Tábanos y Auquilco de la Cuenca Neuquina y su interpretación. 4° Reunión Argentina de Sedimentología, Actas 2: 183-190, La Plata.
- Fontboté, L. y Amstutz, G.C. 1980. New observations on diagenetic crystallization rhythmites in the carbonate facies of the Triassic of the Alpujarrides (Betic Cordillera, southern Spain). Comparison with other diagenetic rhythmites. 1st Symposium on diagenesis of sediments and sedimentary rocks. Instituto de Investigaciones Geológicas Revista 34: 293-310, Barcelona.
- Fontboté, L. y Amstutz, G.C. 1983. Facies and sequence analysis of diagenetic crystallization rhythmites in stratabound Pb-Zn-(Ba, F) deposits in the Triassic of Central and Southern Europe. En Schneider, H.J. (ed.) Mineral deposits of the Alps and of the Alpin: 347-358, Springer Verlag, Berlin.
- Garrido, M., Domínguez, E., Gómez, M.C., Cesaretti, N. y Aliotta, G., 2000. Una mineralización de Zn-Pb de tipo MVT en la Cuenca Neuquina. 5° Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas: 164-170, Buenos Aires.
- González-Sánchez, F., Camprubí, A., González-Partida, E., Puente-Solís, R., Canet, C., Centeno-García, E. y Atudorei, V. 2009. Regional stratigraphy and distribution of epigenetic stratabound celestine, fluorite, barite and Pb-Zn deposits in the MVT province of northeastern Mexico. *Mineralium Deposita* 44: 343-361.
- Gustafson, L.B. y Williams, N. 1981. Sediment-hosted stratiform deposits of copper, lead and zinc. *Economic Geology*, Seventy-Fifth Anniversary Volume: 139-178.
- Hayase, K. y Bengochea, A.L. 1975. Consideraciones sobre la génesis de algunos yacimientos de baritina-celestina, provincia de Neuquén, República Argentina. 2° Congreso Ibero-americano de Geología Económica, Actas 2: 295-314, Buenos Aires.
- Hayase, K., Bengochea, A.L., Dristas, J. y Labudía, C., 1979. Estudio del yacimiento de baritina-celestina Mina Achalay, Mallín Quemado, Provincia del Neuquén. 6° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 61-68, Buenos Aires.
- Howell, J.A., Schwarz, E., Spalletti, L.A. y Veiga, G. 2005. The Neuquén Basin: an overview. En Veiga, G.D., Spalletti, L.A., Howell, J.A. y Schwarz, E. (eds.) The Neuquén Basin, Argentina: A case study in sequence stratigraphy.

- phy and basin dynamics. Geological Society of London, Special Publications, 252: 1-14.
- Jorge, S., Melgarejo, J.C. y Alfonso, P. 1997. Asociaciones minerales en sedimentos exhalativos y sus derivados metamórficos. En Melgarejo, J.C. (ed.) Atlas de Asociaciones minerales en lámina delgada, 19: 287-308, Universidad de Barcelona.
- Kesler, S.E. y Jones, C.M. 1981. Sulfur- and strontium-isotopic geochemistry of celestite, barite, and gypsum from the Mesozoic basins of north-eastern Mexico. Chemical Geology 31: 211-224.
- Kretz, R. 1983. Symbols of rock-forming minerals. American Mineralogist 68: 277-279.
- Leach, D.L., Bradley, D.C., Huston, D., Pisarevsky, S.A., Taylor, R.D. y Gardoll, S.J. 2010. Sediment-hosted lead-zinc deposits in Earth history. Economic Geology 105: 593-625.
- Leanza, H.A. 2003. Las sedimentitas hui-trinianas y rayosianas (Cretácico Inferior) en el ámbito central y meridional de la Cuenca Neuquina, Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Serie Contribuciones Técnicas Geología 2: 1-31, Buenos Aires.
- Leanza, H.A. 2009. Las principales discordancias del Mesozoico de la Cuenca Neuquina según observaciones de superficie. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, nueva serie 11 (2): 145-184, Buenos Aires.
- Leanza, H. 2011. Mapa geológico de la provincia del Neuquén, escala 1:500-000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Buenos Aires.
- Leanza, H.A. y Hugo, C. 2005. Hoja Geológica 3969-I Zapala, provincia del Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Boletín N° 275, 132 p., Buenos Aires.
- Legarreta, L. y Gulisano, C. 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico Superior-Terciario Inferior). En G.Chebli y L.Spalletti (eds.) Cuencas Sedimentarias Argentinas: 221-243, Serie Correlación Geológica N° 6, Instituto Superior de Correlación Geológica, Universidad Nacional de Tucumán.
- Leveratto, M.A. 1982. Estudio geológico-minero de los yacimientos de baritina del distrito Mallín Quemado, departamento Picunches, provincia del Neuquén. Minera TEA, (inédito), 15 p., Buenos Aires.
- Llambías, E.J. y Aragón, E. 2011. Volcanismo Paleógeno. En Leanza, H., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés, J. (eds) Relatorio Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén, 18° Congreso Geológico Argentino, Estratigrafía 23: 265-274, Buenos Aires.
- Llambías, E.J. y Leanza, H.A. 2005. Depósitos laháricos en la Formación Los Molles en Chacay Melehue, Neuquén. Evidencia de volcanismo jurásico en la Cuenca Neuquina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 60: 552-558, Buenos Aires.
- Llambías, E.J. y Malvicini, L. 1978. Geología, petrología y metalogénesis del área de Colipilli, provincia del Neuquén, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 33: 257-276, Buenos Aires.
- Llambías, E.J. y Rapela, C.W. 1989. Las vulcanitas de Colipilli, Neuquén, y su relación con otras unidades paleógenas de la Cordillera. Revista de la Asociación Geológica Argentina 44: 224-236, Buenos Aires.
- McArthur, J.M., Howarth, R.J. y Bailey, T.R. 2001. Strontium isotope stratigraphy: LOWESS Version 3. Best-fit line to the marine Sr-isotope curve for 0 to 509 Ma and accompanying look-up table for deriving numerical age. Journal of Geology 109: 155-169.
- Méndez, V., Zanettini, J.C. y Zappettini, E.O. 1995. Geología y metalogénesis del Orógeno Andino Central, República Argentina. SEGEMAR, Anales 23: 1-190, Buenos Aires.
- Navarro, H. 1983. Geología estructural y económica de Mina Achalay Norte, Departamento Picunches, Provincia de Neuquén. 2° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 1: 285-296, Buenos Aires.
- Rapela, C.W. y Llambías, E.J. 1985. La secuencia andesítica terciaria de Andacollo, Neuquén, Argentina. 4° Congreso Geológico Chileno, Actas 4: 458-488, Antofagasta.
- Robinson, B. W. y Kusakabe, M. 1975. Quantitative preparation of sulfur dioxide for 34S/32S analyses from sulfides by combustion with cuprous oxide. Analytical Chemistry 47: 1179-1181.
- Rollinson, H., 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Longman Geochemistry Series, 352 p., J.Wiley & Sons, Nueva York.
- Torres Ruiz, J. 2008. Depósitos de celestina de la Depresión de Granada (yacimientos de Montevive y Escúzar). Master en Geología y Gestión Ambiental de Recursos Minerales: 1-12, Universidad Internacional de Andalucía.
- Tritlla, J., Levresse, G., Corona-Esquivel, R., Banks, D., Lamadrid, H. y Bourdet, J. 2006. Depósitos de Pb-Zn-Cu-Ba-F-Sr epigenéticos estratoligados en series sedimentarias en relación con salmueras de cuenca: depósitos de tipo "Mississippi Valley" (MVT) y similares en México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 58: 103-139.
- Yrigoyen, M.F., 1972. Cordillera Principal. En Leanza, A.F. (ed.) Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias: 345-364, Córdoba.
- Zappettini, E., 1999. Clasificación de depósitos minerales de Argentina. En Zappettini, E. (ed.) Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35: 75-103, Buenos Aires.

Recibido: 4 de abril, 2013

Aceptado: 15 de octubre, 2013